

VAPOR-LIQUID EQUILIBRIUM (VLE) WATER-ETHANOL FROM BULRUSH FERMENTANTION

Ni Ketut Sari

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jatim
Jl. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya 60294
e-mail: sari_ketut@yahoo.com

ABSTRACT

Liquid-vapor equilibrium data need in separation process for example distillation, extraction, absorpsi processes, binary system or multi component system. Be inside Liquid-vapor equilibrium data can be used for strenght what is mixture foundation azeotropic or zeotropic mixture. For can be Liquid-vapor equilibrium data ethanol-water, generally used raw material wich pro analitic (pro analitic ethanol), In research will example for used raw material wich technical that is bulrush fermentation yield wich already distillation (technical ethanol). This research can be liquid-vapor equilibrium data binary system ethanol-water, verification of eksperiment yield with literature data, and can be temperature data in distilate and in bottom binary system ethanol-water. Research used device of Still Othmer Glass, raw material ethanol wish used that is technical and pro analitic with variable of ethanol feed composition that is 0 ; 0.2 ; 0.4 ; 0.6 ; 0.8 ; 1 (mol fraction) and constant pressure 300 bar. Ethanol yield wich used analysis used spektrofotometer pharo 100. From yild research wich used, than liquid-vapor equilibrium data binary system ethanol-water direction azeotropic point at ethanol composition 0.98 mol fraction, and data wish used can be used in calculation at distilation, extraction, absorpsi processes.

Keywords : Azeotropes, fermentation, bulrush, binary system.

PENDAHULUAN

Operasi pemisahan fasa liquid – liquid ada beberapa macam yaitu distilasi, ekstrasi dan absorpsi. Seperti halnya pemisahan komponen – komponen campuran ethanol – air yang dilakukan dengan proses distilasi. Distilasi adalah proses yang digunakan untuk memisahkan campuran fluida berdasarkan titik didih yang diikuti oleh kondensasi. Data yang diperlukan dalam penyelesaian persoalan distilasi adalah data kesetimbangan antara fase liquid dan fase gas. Bentuk dan sumber data kesetimbangan antara fase liquid dan fase gas diantaranya dapat digambarkan dalam bentuk kurva kesetimbangan atau diperoleh dengan cara eksperimen. Dua fasa dikatakan berada dalam kesetimbangan jika temperatur, tekanan, dan potensial kimia dari masing-masing komponen yang terlibat di kedua fasa bernilai sama. Salah satu alat yang digunakan

untuk memperoleh data kesetimbangan antara fase liquid dan fase gas adalah Glass Othmer Still. Adapun hal – hal yang berpengaruh dalam sistem kesetimbangannya yaitu : Tekanan (P), Suhu (T), Konsentrasi komponen A dalam fase liquid (x) dan Konsentrasi komponen A dalam fase uap (y). Pada penelitian ini digunakan bahan baku ethanol dari hasil fermentasi rumput gajah yang sudah didistilasi dengan kadar ethanol 96% dan ethanol Pro Analisis dengan kadar 99,8%. Dari data yang diperoleh, dibuat kurva kesetimbangan uap – cair sistem biner ethanol – air. Analisa bahan baku dan produk menggunakan spektrofotometer pharo 100, atau *Gas Kromatografi* (GC). Dari penelitian sistem biner yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, dalam penelitian tersebut masih diperlukan kesetimbangan uap-cair sistem biner untuk menghasilkan

data yang akurat dan model korelasi yang dapat di aplikasikan untuk memperkirakan kesetimbangan uap-cair sistem multikomponen (Wiryanto & Teddy, 1998). Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Hadi Supardi dengan sistem terner Aseton-n-Butanol-Ethanol (ABE) pada tekanan atmosferik, didapatkan data kesetimbangan uap-cair sistem terner dan dapat mengetahui pengaruh tekanan terhadap kesetimbangan. Jadi untuk memperoleh data kesetimbangan uap-cair bisa menggunakan sistem biner maupun terner (Hadi, 1999).

Beberapa publikasi tentang proses pembuatan Ethanol yang dipublikasikan diantaranya :

- Penelitian yang sudah dilakukan terhadap biji kapas dengan proses hidrolisis yang menggunakan 0,8 % H_2SO_4 pada suhu 120°C selama 1 jam sehingga dihasilkan kadar glukosa tertinggi 13,848 %, glukosa ini mendapat perlakuan fermentasi yang optimum selama 72 jam dengan kadar alkohol 7,86 % (Rois, 2005).
- Penelitian lain juga dilakukan terhadap buah siwalan menggunakan proses hidrolisis pada suhu 100 °C, pH 2,3 dan H_2SO_4 1 N, dihasilkan kadar glukosa optimum sebesar 21,86 % kemudian dilakukan proses fermentasi dengan penambahan optimum $(NH_4)HPO_4$ sebesar 9 gram, sehingga diperoleh 9,92 % ethanol dan kadar glukosa sisa sebesar 8,02 % (Eri, 2007).

Beberapa penelitian yang telah dilaksanakan berkaitan dengan pemanfaatan tanaman yang berselulosa tinggi sebagai ethanol diantaranya :

- Ni Ketut Sari, Ketut Sumada (2006), “Kajian Produksi Ethanol dari Bengkuang” Penelitian ini mengkaji tentang produk ethanol dengan proses hidrolisis dengan peubah derajat keasaman (pH) dan perbandingan H_2SO_4 dengan bengkuang, dimana menggunakan 0,8 % H_2SO_4 pada suhu 120 °C selama 1 jam sehingga dihasilkan kadar gula reduksi tertinggi 5 % dan kadar pati 16 %. Gula reduksi ini mendapat perlakuan fermentasi yang optimum selama 24 - 72 jam dengan variable waktu fermentasi diperoleh kadar alkohol 9 %.
- Ni Ketut Sari, Ketut Sumada (2006), “Kajian Produksi Ethanol dari Air Leri” Penelitian ini mengkaji tentang menggunakan proses hidrolisis pada suhu 100 °C, pH 2,3 dan H_2SO_4 1 N, dihasilkan kadar gula reduksi optimum sebesar 6,7 % dan kadar pati 7 %, kemudian dilakukan proses fermentasi dengan penam-

bahan optimum $(NH_4)HPO_4$ sebesar 9 gram, sehingga diperoleh 20 % ethanol.

- Ni Ketut Sari (2007), “Kajian Produksi Ethanol dari Limbah Tepung Tapioka” Penelitian ini mengkaji tentang produk ethanol dengan proses hidrolisis yang menggunakan H_2SO_4 1 N pada suhu 110 °C selama 2 jam sehingga dihasilkan kadar gula reduksi tertinggi 5 % dan kadar pati 16 %, gula reduksi ini mendapat perlakuan fermentasi yang optimum selama 5 - 25 jam dengan kadar alkohol 11 -16 %.

Ethanol atau *ethyl alcohol* kadang disebut juga ethanol spiritus. Ethanol digunakan dalam beragam industri seperti campuran untuk minuman keras seperti sake atau gin, bahan baku farmasi dan kosmetika, dan campuran bahan bakar kendaraan, peningkat oktan, dan bensin ethanol (gasohol). Rumput gajah dikenal dengan nama ilmiah : *Pennisetum Purpureum Schumach*. Nama daerahnya : Elephant grass, napier grass (Inggris), Herbe d'elephant, fausse canne a sucre (Prancis), Rumput Gajah (Indonesia, Malaysia), Buntot-pusa (Tagalog, Filipina), Handalawi (Bokil), Lagoli (Bagobo), Ya-nepia (Thailand), Co' duoi voi (Vietnam), Pasto Elefante (Spanyol). Rumput gajah berasal dari Afrika tropika, kemudian menyebar dan diperkenalkan ke daerah-daerah tropika didunia. Dikembangkan terus-menerus dengan ber-bagai silangan sehingga menghasilkan banyak kultivar, terutama di Amerika, Philipina dan India.

Rumput gajah dikenal dengan nama ilmiah : *Pennisetum Purpureum Schumach*. Nama daerahnya : *Elephant grass*, *napier grass* (Inggris), *Herbe d'elephant*, *fausse canne a sucre* (Prancis), Rumput Gajah (Indonesia, Malaysia), *Buntot-pusa* (Tagalog, Filipina), *Handalawi* (Bokil), *Lagoli* (Bagobo), *Ya-nepia* (Thailand), *Co' duoi voi* (Vietnam), *Pasto Elefante* (Spanyol). Rumput gajah berasal dari Afrika tropika, kemudian menyebar dan diperkenalkan ke daerah-daerah tropika didunia. Dikembangkan terus-menerus dengan berbagai silangan sehingga menghasilkan banyak kultivar, terutama di Amerika, Philipina dan India. Rumput gajah merupakan keluarga rumput-rumputan (*graminae*) yang telah dikenal manfaatnya sebagai pakan ternak pemamah biak (ruminansia) yang alamiah di Asia Tenggara.

Rumput gajah secara umum merupakan tanaman tahunan yang berdiri tegak, berakar dalam, tinggi rimpang yang pendek. Tinggi batang dapat mencapai 2-4 meter (bahkan mencapai 6-7 meter), dengan diameter batang dapat mencapai lebih dari 3 cm dan terdiri sampai 20 ruas/buku.

Tumbuh membentuk rumpun dengan lebar rumpun hingga 1 meter. Pelepah daun gundul hingga berbulu pendek, helai daun bergaris dengan dasar yang lebar, ujungnya runcing.

Kandungan nutrien setiap ton bahan kering adalah : N : 10-30 kg ; P : 2-3 kg ; K : 30 kg ; Ca : 3-6 kg ; Mg dan S : 2-3 kg
(<http://aquat1.ifas.ufl.edu/penpur.html>) .

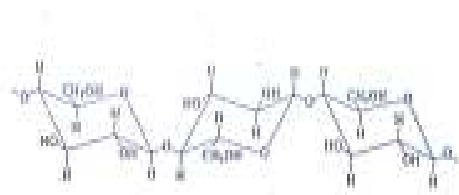
Kandungan lain dari rumput gajah adalah : protein kasar 5,2 % dan serat kasar 40,85% (<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/Gbase/DATA/Pf000301.htm>).



Gambar 1. Rumput gajah yang berumur sekitar 2 minggu.

Selulosa adalah polimer β -glukosa dengan ikatan β -1, 4 diantara satuan glukosanya. Selulosa berfungsi sebagai bahan struktur dalam jaringan tumbuhan dalam bentuk campuran polimer homolog dan biasanya disertai polisakarida lain dan lignin dalam jumlah yang beragam. Molekul selulosa memanjang dan kaku, meskipun dalam larutan. Gugus hidroksil yang menonjol dari rantai dapat membentuk ikatan hidrogen dengan mudah, mengakibatkan kekristalan dalam batas tertentu. Derajat kekristalan yang tinggi menyebabkan modulus kekenyalan sangat meningkat dan daya regang serat selulosa menjadi lebih besar dan mengakibatkan makanan yang mengandung selulosa lebih liat (John, 1997).

Selulosa yang merupakan polisakarida terbanyak di bumi dapat diubah menjadi glukosa dengan cara hidrolisis asam (Groggins, 1985).



Gambar 2. Rumus Bangun Selulosa

Proses Pembuatan Ethanol

Bahan-bahan yang mengandung monosakarida ($C_6H_{12}O_6$) sebagai glukosa langsung dapat difermentasi menjadi ethanol. Akan tetapi disakarida pati, atau pun karbohidrat kompleks harus dihidrolisa terlebih dahulu menjadi komponen sederhana, monosakarida. Oleh karena itu, agar tahap proses fermentasi dapat berjalan secara optimal, bahan tersebut harus mengalami perlakuan pendahuluan sebelum masuk ke dalam proses fermentasi.

Disakarida seperti gula pasir ($C_{12}H_{22}O_{11}$) harus dihidrolisa menjadi glukosa. Polisakarida seperti selulosa harus diubah terlebih dahulu menjadi glukosa. Terbentuknya glukosa berarti proses pendahuluan telah berakhir dan bahan-bahan selanjutnya siap untuk difermentasi. Secara kimiawi proses fermentasi dapat berjalan cukup panjang, karena terjadi suatu deret reaksi yang masing-masing dipengaruhi oleh enzim-enzim khusus.

a. Hidrolisis

Hidrolisis adalah reaksi organik dan anorganik yang mana terdapat pengaruh air terhadap komposisi ganda (XY), menghasilkan hydrogen dengan komposisi Y dan komposisi X dengan hidroksil, dengan reaksi sebagai berikut :



Hidrolisis asam adalah hidrolisis dengan menggunakan asam yang dapat mengubah polisakarida (pati, selulosa) menjadi gula. Dalam hidrolisis asam biasanya digunakan asam chlorida (HCl) atau asam sulfat (H_2SO_4) dengan kadar tertentu. Hidrolisis ini biasanya dilakukan dalam tangki khusus yang terbuat dari baja tahan karat atau tembaga yang dihubungkan dengan pipa saluran pemanas dan pipa saluran udara untuk mengatur tekanan dalam udara (Soebijanto, 1986).

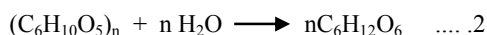
Selulosa dari rumput dapat diubah menjadi ethanol dengan proses hidrolisis asam dengan kadar tertentu. Proses hidrolisis selulosa harus dilakukan dengan asam pekat agar dapat menghasilkan glukosa (Fieser, 1963).

Proses hidrolisis ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya :

1. pH (derajat keasaman)
pH mempengaruhi proses hidrolisis sehingga dapat dihasilkan hidrolisis yang sesuai dengan yang diinginkan, pH yang baik untuk proses hidrolisis adalah 2,3

(Soebijanto,1986).

2. Suhu
Suhu juga mempengaruhi proses kecepatan reaksi hidrolisis, suhu yang baik untuk hidrolisis selulosa adalah sekitar 21 °C
3. Konsentrasi
Konsentrasi mempengaruhi laju reaksi hidrolisis, untuk hidrolisis asam digunakan konsentrasi HCl pekat atau H₂SO₄ pekat (Groggins,1985). Dalam proses ini selulosa dalam rumput gajah diubah menjadi glukosa dengan reaksi sebagai berikut:



Selulosa

Glukosa

Khamir adalah mikroorganisme bersel tunggal dengan ukuran antara 5 – 20 mikron, biasanya berukuran sampai 5-10x lebih besar dari bakteri. Terdapat berbagai macam bentuk ragi, bentuk ini tergantung pada pembelahannya. Sel khamir sering dijumpai secara sel tunggal, tetapi apabila anak-anak sel tidak dilepaskan dari induknya setelah pembelahan, maka akan terjadi bentuk yang disebut *pseudomiselium*. Khamir tidak bergerak, pembelahan khamir terjadi secara aseptual atau tunas. Khamir sangat berperan penting dalam membantu proses-proses pembuatan bir, salah satu khamir yang baik untuk pembuatan ethanol adalah *saccharomyces cerevisiae* yang mana tunasnya berkembang dari bagian permukaan sel induk (Buckle,1985).

b. Fermentasi

Proses fermentasi yang dilakukan adalah proses fermentasi yang tidak menggunakan oksigen atau proses *anaerob*. Cara pengaturan produksi ethanol dari gula cukup kompleks, konsentrasi substrat, oksigen, dan produk ethanol, semua mempengaruhi metabolisme khamir, daya hidup sel, pertumbuhan sel, pembelahan sel, dan produksi ethanol. Seleksi galur khamir yang cocok dan mempunyai toleransi yang tinggi terhadap baik konsentrasi, substrat ataupun alkohol merupakan hal yang penting untuk peningkatan hasil (Higgins dkk,1985).

Fermentasi pertama kalinya dilakukan perlakuan dasar terhadap bibit fermentor / persiapan starter. Dimana starter diinokulasikan sampai benar-benar siap menjadi fermentor, baru dimasukkan ke dalam substrat yang akan difermentasi (Dwijoseputro). Bibit fermentor yang biasa digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae*.

Saccharomyces cerevisiae mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

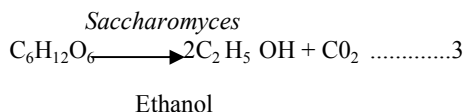
1. Mempunyai bentuk sel yang bulat, pendek oval, atau oval.
2. Mempunyai ukuran sel (4,2-6,6) x (5-11) mikron dalam waktu tiga hari pada 25 °C dan pada media agar.
3. Dapat bereproduksi dengan cara penyembulan atau multilateral.
4. Mampu mengubah glukosa dengan baik.
5. Dapat berkembang dengan baik pada suhu antara 20-30 °C (Judoamidjojo,1992).

Proses fermentasi dipengaruhi oleh :

1. Nutrisi
Pada proses fermentasi, mikroorganisme sangat memerlukan nutrisi yang baik agar dapat diperoleh hasil fermentasi yang baik. Nutrisi yang tepat untuk menyuplai mikroorganisme adalah nitrogen yang mana dapat diperoleh dari penambahan NH₃, garam amonium, pepton, asam amino, urea. Nitrogen yang dibutuhkan sebesar 400-1000 gram/1000 L cairan. Dan fosfat yang dibutuhkan sebesar 400 gram/1000 L cairan (Soebijanto,1986). Nutrisi yang lain adalah amonium sulfat dengan kadar 70-400 gram / 100 liter cairan (Judoamidjojo,1992).
2. pH
pH yang baik untuk pertumbuhan bakteri adalah 4,5 – 5. Tetapi pada pH 3,5 fermentasi masih dapat berjalan dengan baik dan bakteri pembusuk akan terhambat, untuk mengatur pH dapat digunakan NaOH dan HNO₃.
3. Suhu
Suhu yang baik untuk pertumbuhan bakteri adalah antara 20-30 °C. Makin rendah suhu fermentasi, maka akan semakin tinggi etanol yang akan dihasilkan, karena pada suhu rendah fermentasi akan lebih komplit dan kehilangan etanol karena terbawa oleh gas CO₂ akan lebih sedikit.
4. Waktu
Waktu yang dibutuhkan untuk fermentasi adalah 7 hari (Judoamidjojo.1992)
5. Kandungan gula
Kandungan gula akan sangat mempengaruhi proses fermentasi, kandungan gula optimum yang diberikan untuk fermentasi adalah 25%, untuk permulaan, kadar gula yang digunakan adalah 16% (Sardjoko.1991).

6. Volume starter

Volume starter yang baik untuk melakukan fermentasi adalah 1/10 bagian dari volume substrat. Dalam proses fermentasi ini, glukosa dari hasil fermentasi diubah menjadi etanol dengan reaksi sbagai berikut :



4. Kualitas Ethanol

Kandungan Ethanol dalam rumput gajah dapat dikendalikan dengan mengatur berbagai faktor yang mempengaruhi : Konsentrasi selulosa, pati dan glukosa, pH, Perbandingan rumput gajah dengan larutan HCl, Jumlah *Saccharomyces cerevisiae*, Waktu fermentasi. Kualitas produk yang akan dihasilkan mempunyai standar komposisi sebagai berikut :

Tabel 1. Standar komposisi produk

| No | Komponen | Komposisi produk (% berat) |
|----|--------------|----------------------------|
| 1 | Rumput gajah | 40 – 70% |
| 2 | Gula reduksi | 15 – 25% |
| 3 | Ethanol | 10 – 12% |

Disamping kualitas berdasarkan komposisi, ethanol ini mempunyai keunggulan lain dibanding dengan ethanol yang ada saat ini seperti :

- Bahan baku rumput gajah tersedia dalam jumlah yang cukup besar
- Mempunyai kadar selulosa yang tinggi (40,85 %)
- Sesuai untuk daerah subtropis dan tropis seperti di Indonesia

Macam – macam pemisahan ethanol – air

Distilasi atau penyulingan adalah suatu proses penguapan yang diikuti pengembunan. Distilasi dilakukan untuk memisahkan suatu cairan dari campurannya sehingga komponen lain tidak ikut menguap (perbedaan titik didih). Misalnya adalah pengolahan air tawar dari air laut. Ekstraksi adalah proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan kelarutannya terhadap dua cairan tidak saling larut yang berbeda, biasanya air dan yang lainnya pelarut organik. Absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan

cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan absorben cair yang diikuti dengan pelarutan.

Perhitungan Temperatur Bubble.

Untuk kondisi tekanan rendah, yaitu tekanan mendekati satu atmosfer, koefisien fugasitas komponen i , $\varphi_i = \varphi_i^s = 1$ (gas ideal)

sehingga harga $\frac{\exp(V_i(P - P^{sat}))}{RT}$ Faktor Poynting,

mendekati satu, pengambilan asumsi bahwa $\varphi_i = 1$ menimbulkan kesalahan yang kecil untuk kesetimbangan uap cair tekanan rendah, sehingga diperoleh persamaan untuk menghitung komposisi uap (y_i) : (Smith dkk., 1996)

$$y_i P = x_i P_i^{sat} \dots\dots\dots 4$$

Harga T sebagai harga awal akan digunakan untuk mengetahui tekanan uap jenuh suatu zat yang akan diestimasi dengan persamaan Antoine.

$$\ln(P_i^{sat}) = A_i - \frac{B_i}{C_i + T} \dots\dots\dots 5$$

Prosedur iterasi untuk mencari *temperature bubble* yaitu mencari harga temperatur jenuh dari komponen murni T_i^{sat} pada P

$$T_i^{sat} = \frac{B_i}{A_i - \ln P} - C_i \dots\dots\dots 6$$

Dimana A, B, C adalah konstanta Antoine untuk spesies i , untuk semua estimasi awal.

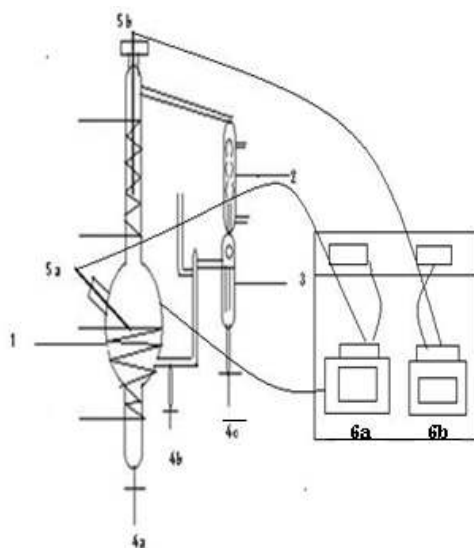
$$T = \sum_i x_i T_i^{sat} \dots\dots\dots 7$$

Tabel 2. Parameter Antoine Sistem Antoine

| Komponen | Parameter Antoine | | |
|----------|-------------------|-----------|--------|
| | A | B | C |
| Etanol | 16.68 | 3,674.490 | 266.45 |
| Air | 16.26200 | 3,799.890 | 226.35 |

Sumber : Smith dkk, 1996

METODE PENELITIAN



Gambar 3. Glass Othmer Still

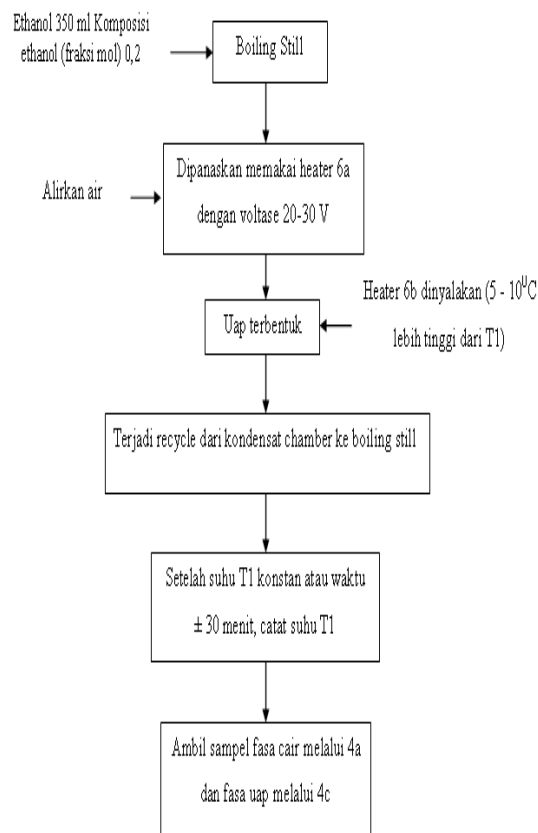
Keterangan Gambar :

1. Boiling Still
2. Kondensor
3. Kondensat Chamber
4. Cock
5. Thermometer
6. Heater

Tata cara penelitian pada gambar 3 sebagai berikut, siapkan larutan ethanol (1) – air (2) dan tutup cock 4a, 4b dan 4c lalu masukkan larutan melalui bagian atas still sampai boiling still terisi kurang lebih $\frac{3}{4}$ bagian. Alirkan kran air sehingga air mengalir melalui kondensor dan perhatikan agar seluruh kondensor terisi air dan yakinkan bahwa air mengalir melalui kondensor. Panaskan boiling still dengan memutar slide regulator untuk 6a pada posisi 20 – 30 V (jangan ≥ 40 V). Amati perubahan temperatur melalui thermometer. Jika uap sudah mulai terbentuk pada boiling still, nyalakan pemanas 6b dengan memutar slide regulator dan atur suhu T_2 sekitar 5 – 10 °C lebih tinggi dari T_1 dilihat pada 5b. Cock 4b dibuka untuk recycle, amati terus suhu T_1 , T_2 dan cairan pada kondensat chamber dan yakinkan bahwa recycle dari kondensat chamber ke boiling still terjadi. Setelah suhu T_1 konstan lebih dari 30 menit, catat suhu tersebut sebagai suhu kesetimbangan dan ambil sampel fasa cair melalui 4a dan sampel fasa uap melalui 4c. Hasil fasa cair dan fasa uap di analisa menggunakan alat spektrofotometer pharo 100.

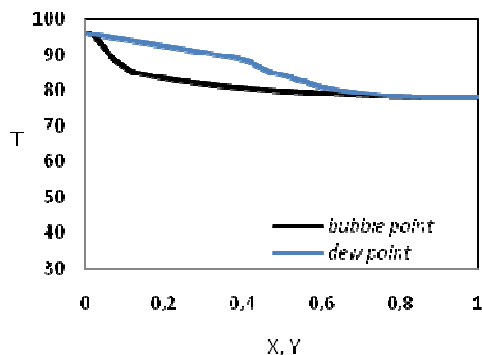
Tata cara penelitian mengikuti blok diagram dibawah ini. Ethanol 350 ml dengan

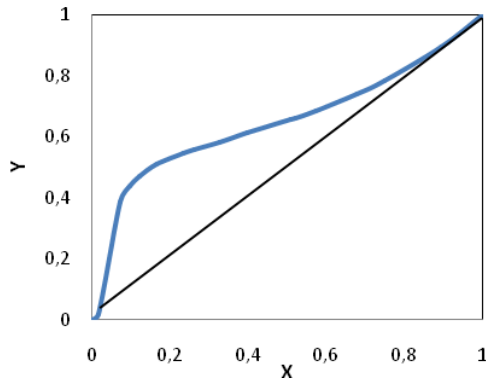
variasi komposisi ethanol dalam fraksi mol, dimasukkan dalam boiling still. Setelah itu dipanaskan menggunakan heater, uap yang terbentuk dikondensasi menggunakan kondensor. Pada suhu konstan diambil distilat dan bottom pada cock masing-masing.



HASIL DAN PEMBAHASAN

- a. Grafik Kurva Kesenimbangan Ethanol-Air dari data literatur



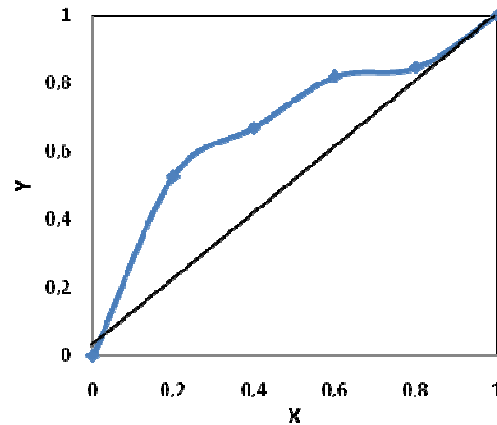
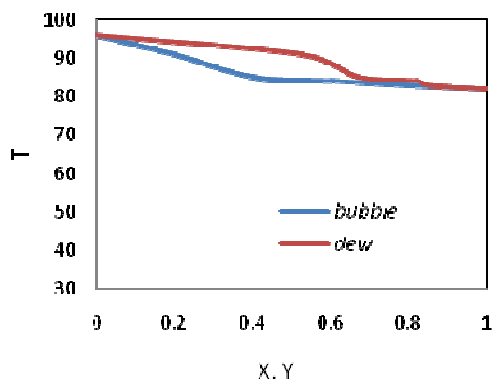


Gambar 4. Kurva kesetimbangan X,Y,T Ethanol-Air dari data literatur

Gambar 4 menunjukkan grafik kurva kesetimbangan sistem biner Ethanol-Air dari data literatur, dengan kurva tersebut nantinya dipakai untuk verifikasi dari hasil penelitian secara eksperimen dan secara perhitungan dari persamaan yang digunakan.

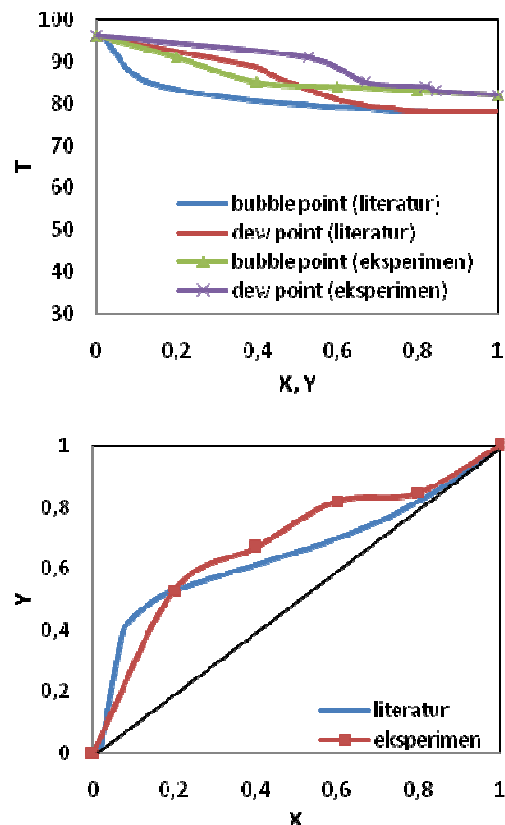
Dari gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar fraksi mol umpan ethanol, maka temperatur pada dew point dan bubble point semakin menurun, hal ini disebabkan karena komponen ethanol bersifat *volatile* dengan titik didih 78,32 °C mudah menguap, sebaliknya untuk komponen air yang bersifat *non-volatile* dengan titik didih 100 °C. Semakin besar fraksi mol umpan ethanol makin besar, mendekati titik azeotropik yaitu sekitar 0,8 (fraksi mol) komposisi distilat menurun. Jika dibandingkan antara hasil eksperimen dengan data literatur pada range komposisi 0,4 sampai 0,6 mengalami penyimpangan, hal ini disebabkan keterbatasan alat yang digunakan, tidak digunakan sensor temperatur pada alat.

- b. Grafik kurva kesetimbangan Ethanol-Air dari hasil eksperimen dengan bahan baku ethanol teknis (96 %)



Gambar 5. Kurva kesetimbangan X,Y,T Ethanol-Air dari hasil eksperimen.

- c. Grafik kurva kesetimbangan Ethanol-Air dari data literatur dan hasil eksperimen dengan bahan baku ethanol teknis (96 %)

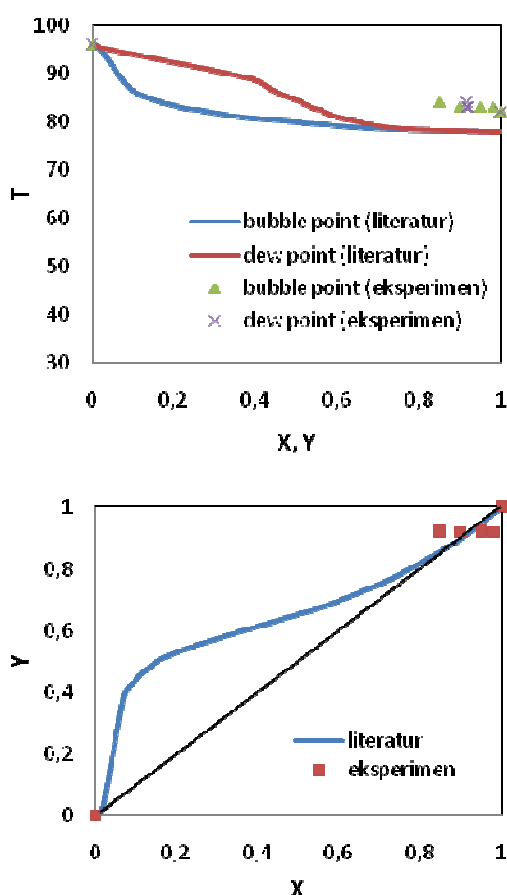


Gambar 6. Kurva kesetimbangan X,Y,T Ethanol-Air dari data literatur dan hasil eksperimen dengan bahan baku ethanol teknis (96 %).

Pada Gambar 6 ditampilkan kurva kesetimbangan X,Y,T untuk data sistem biner ethanol(1)-air(2) (eksperimen) dibandingkan de-

ngan sistem ethanol(1)-air(2) (Perry,6th ed.). Dari gambar terlihat temperatur pada eksperimen lebih tinggi dari literatur, hal ini disebabkan karena kadar bahan ethanol yang digunakan pada penelitian adalah 96% sedangkan pada literatur adalah ethanol absolute, dimana kadar ethanol mempengaruhi titik didih. Pada gambar 4 ditampilkan kurva kesetimbangan X,Y ethanol(1)-air(2) berdasarkan data eksperimen dengan menggunakan ethanol dari hasil fermentasi rumput gajah dengan kadar 96% dan hasil eksperimen dianalisa dengan spektrofotometer pharo 100, dari variasi komposisi ethanol yang digunakan (0,2 ; 0,4 ; 0,8; 1 fraksi mol), menunjukkan bahwa pada titik 0,8 (komposisi umpan) fraksi mol hampir mendekati titik azeotrop.

- d. Grafik kurva kesetimbangan Ethanol-Air dari data literatur dan hasil eksperimen dengan bahan baku ethanol pro analitis (99,8 %)



Gambar 7. Kurva kesetimbangan X,Y,T Ethanol-Air dari data literatur dan hasil eksperimen dengan bahan baku ethanol pro analitis (99,8 %)

Pada gambar 7 ditampilkan kurva kesetimbangan X,Y,T untuk sistem biner ethanol(1)-air(2) berdasarkan data eksperimen dengan menggunakan ethanol pro analitis. Pada gambar menunjukkan bahwa semakin besar fraksi mol maka temperatur pada dew point dan bubble point semakin menurun. Hal ini disebabkan karena komponen ethanol bersifat *volatile* dengan titik didih 78,32 °C sedangkan air bersifat *non-volatile* dengan titik didih 100 °C. Pada gambar 5 ditampilkan kurva kesetimbangan X,Y,T untuk data sistem biner ethanol(1)-air(2) (eksperimen) dibandingkan dengan sistem ethanol(1)-air(2) (Perry,6th ed.). Dari gambar kurva dew point terlihat temperatur pada eksperimen lebih tinggi dari literature, hal ini disebabkan karena kadar bahan yang digunakan pada penelitian adalah 99,8% sedangkan pada literature adalah ethanol absolute. Karena salah satu faktor yang mempengaruhi titik didih adalah kadar ethanol. Kurva kesetimbangan X,Y sistem biner ethanol(1)-air(2) berdasarkan data eksperimen dengan menggunakan ethanol Pro Analisis untuk daerah setelah azeotrop. Pada titik 0,85 dan 0,9 fraksi mol termasuk dalam fase uap sedangkan pada titik 0,95 dan 0,98 fraksi mol termasuk dalam fase cair. Pada gambar 5 terlihat bahwa hasil eksperimen terlihat fase cair dan fase uap sehingga dapat mengetahui titik azeotropnya sedangkan pada literatur tidak ditemukan fase cairnya.

1. Perhitungan Neraca Massa Kebutuhan Rumput Gajah

Berdasarkan analisa laboratorium diketahui data-data sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Analisa Rumput Gajah

| No | Parameter | Konsentrasi 1 (%) | Konsentrasi 2 (%) | Konsentrasi Rata-rata (%) |
|----|-----------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 1 | Selulosa | 48,008 | 48,102 | 48,055 |
| 2 | Glukosa | 4,774 | 4,898 | 4,836 |
| 3 | Pati | 20,318 | 20,416 | 20,367 |
| | TOTAL | 73,100 | 73,416 | 73,258 |

Diketahui :

- Hidrogen (H) berat atom (BA) = 1
- Carbon (C) berat atom (BA) = 12
- Oksigen (O) berat atom (BA) = 15,99
- Selulosa ($C_6H_{10}O_5$) molekul relatif = 162
- Air (H_2O) molekul relatif = 18
- Glukosa ($C_6H_{12}O_6$) molekul relatif = 180
- Ethanol (C_2H_5OH) molekul relatif = 46
- Carbon dioksida (CO_2) molekul relatif = 44

Dalam 100 gram rumput gajah terdapat 48,055 gram selulosa : $48,055 \text{ gram} / 162 = 0,2966 \text{ mol}$.

Glukosa yang dihasilkan : $0,2966 \text{ mol} = 0,2966 \text{ mol} \times 180 = 53,388 \text{ gram}$

Pada reaksi (3) :

Ethanol yang dihasilkan : $2 \times 0,2966 \text{ mol} = 0,5933 \text{ mol} = 0,5933 \text{ mol} \times 46 = 27,291 \text{ gram}$

CO_2 yang dihasilkan : $2 \times 0,2966 \text{ mol} = 0,5933 \text{ mol} = 0,5933 \text{ mol} \times 44 = 26,105 \text{ gram}$

2. Perhitungan Yied Ethanol

Yield ethanol yang dihasilkan adalah 31,69 %.

Dalam 100 gram rumput gajah terdapat 31,69 gram ethanol ; dalam 1000 gram rumput gajah terdapat 316,9 gram ethanol ; dalam 1 kg rumput gajah terdapat 316,9 gram ethanol, diketahui densitas ethanol = 0,98 gr/liter.

Sehingga dalam 1 kg rumput gajah diperoleh $316,9 \text{ gram} / 0,98 \text{ (gr/ml)} = 323,4 \text{ ml}$

3. Perhitungan Analisa Ekonomi

Produk ethanol yang dihasilkan : 323,4 ml = 0,3234 liter.

Kebutuhan rumput gajah 1 kg dan harga rumput gajah Rp. 140 / kg.

Harga HCl : Rp. 3000/liter ; untuk 1 kg rumput gajah dibutuhkan $20 \text{ ml} \times 4 =$

80 ml, sehingga dibutuhkan biaya $80/1000 \times \text{Rp. 3000} = \text{Rp. 240}$.

Biaya listrik asumsi 1 % dari harga produk (Rp. 22.000) = Rp 220

Biaya tenaga kerja asumsi 2 % dari harga produk (Rp. 22.000) = Rp 440

Biaya lain-lain asumsi 10 % dari harga produk (Rp. 22.000) = Rp 2200

Jadi Harga dasar produk ethanol : Rp. 3.240

KESIMPULAN

- Kadar ethanol awal pada ethanol dari rumput gajah adalah 95,80 % dan ethanol pro analitis 99,8% adalah 97,96 %.
- Faktor penyimpangan antara hasil penelitian dengan data literatur karena sensor temperatur pada alat tidak ada, hal lain juga karena perbedaan titik didih ethanol dan air.
- Kurva kesetimbangan uap-cair sistem biner ethanol-air yang dihasilkan dengan bahan baku ethanol teknis penyimpangannya lebih besar dibandingkan penggunaan bahan baku ethanol pro analitis, karena ethanol teknis mengandung kadar air dan impuritis yang tinggi, sehingga penyimpangan terjadi saat mendekati titik azeotropik.
- Kurva kesetimbangan uap-cair sistem biner ethanol-air hasil penelitian dengan bahan baku ethanol teknis mendekati data literatur pada saat variabel berubah 0,2 dan 0,4 fraksi mol ethanol.
- Kurva kesetimbangan uap-cair sistem biner ethanol-air hasil penelitian dengan bahan baku ethanol pro analitis mendekati data literatur pada saat variabel berubah 0,85 dan 0,9 fraksi mol ethanol.

SARAN

Diharapkan penelitian ini dapat dikembangkan dengan mencoba untuk menggunakan variasi bahan yang lain untuk memperoleh data kesetimbangan uap-cair sistem biner. Selain itu untuk menggunakan alat Glass Othmer Still harus lebih berhati-hati.

DAFTAR PUSTAKA

- Arindradita.2009. "*Kesetimbangan Fase*", Makalah Penelitian.
<http://levenspiel.wordpress.com/2009/05/25/kesetimbangan-fase/>
- Hadi Supardi. 1999. "*Estimasi Dan Eksperimen Kurva Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Terner Aseton – N-Butanol-Ethanol*". Jurnal Penelitian Teknik Kimia.
- J.M.Smith, H.C.van Ness, M.M.Abbott. 1996. "*Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*", fifth edition, Mc Graw-Hill Book Company, Singapore.

- Lamiya Mu'nisatus Zahro. 2000. "Keseimbangan Uap-Cair Secara Isothermal Untuk Campuran-Campuran Biner Yang Terlibat Dalam Distilasi Alkohol", Jurnal Penelitian Teknik Kimia.
http://74.125.153.132/search?q=cache:Bq_RqTOSSioJ:lamiyamz.blogspot.com/2009/03/diagram-keseimbanganfasepada.html+jurnal+kesetimbangan+uap+cair+pada+sistem+biner&cd=7&hl=id&ct=clnk&gl=id
- Mhd. Darwis M. 2009. "Keseimbangan Uap Cair", Laporan Praktikum Kimia Fisika.
<http://spirit-awis.blogspot.com/>
- Ni Ketut Sari. 2007. "Pemisahan Sistem Biner Etanol-Air Dan Sistem Terner ABE Dengan Distilasi Batch Sederhana". Jurnal INDUS-TRI Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi Vol. 6 / Fakultas Teknik Industri ITS Surabaya.
- Perry, J.H., and C.H.Chilton. 1996 "Chemical Engineers Handbook", 6th edition. New York : McGraw-Hill.
- Suparni. S. R. 2009. "Dasar Kesetimbangan Uap-Cair", Jurnal Penelitian Teknik Kimia.
http://www.chemistry.org/materi_kimia/kimia-industri/teknologi-proses/dasar-kesetimbangan-uap-cair/
- Soebijanto, T. 1986. "HFS dan Industri Ubi Kayu Lainnya", Gramedia : Jakarta
- Wiryanto, Tedddy S.W. 1999. "Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol(1) – Air (2), Aseton (1) – Air (2), Air (1) – n-Butanol (2) dan Kesetimbangan Cair-cair Air(1) – n-Butanol(2)", Jurnal Penelitian Teknik Kimia.